

ALGÁK ÉS ANYAGFORGALMI KAPCSOLATAIK

KISS KEVE TIHAMÉR, ÁCS ÉVA ÉS SZABÓ KATALIN ÉVA

BEVEZETÉS

A Magyar Dunakutató Állomás megalakulását követően egyik fontos kutatási irányként kezdődtek el az algológiai kutatások. SZEMES publikációi alapján kellő pontossággal, részletességgel megismertük a Duna teljes algaflóráját, annak néhány lényeges jellemvonását (SZEMES 1967a, 1967b, 1967c). A magyarországi, s kiemelten a budapesti szakasz vizsgálati eredményei az 1956–1965 közötti időszak fitoplanktonjának mennyiségi viszonyairól, évszakos változásáról tájékoztattak (SZEMES 1964, 1966, 1969, 1971), bemutatják a magyar Duna-szakasz pontonjainak bevonatkozó algáit (SZEMES 1961). SZEMES eredményeinek áttekintése részletesebben Kiss és Ács (2002) dolgozatában olvasható.

Az 1970-es évek végén továbbfolytatódó algológiai és hozzá kapcsolódó kutatások fő iránya a folyóvizekre irányult (Duna, Tisza és mellékvizei, patakok), de fokozatosan tavi vizsgálatokkal is kiegészült (Velencei-tó, Balaton, horvátországi, spanyolországi, bolíviai tavak). Jelen összeállításunkban elsősorban a Duna, részben a Tisza kutatása során kapott legfontosabb kutatási eredményeinket, összegezzük.

LEGEREDMÉNYESEBB GYŰJTÉSI ÉS VIZSGÁLATI MÓDSZER KIDOLGOZÁSA EGY FOLYAM FITOPLANKTONJÁNAK ÉS FITOBENTONJÁNAK KUTATÁSÁNÁL

SZEMES munkásságát követően a Duna fitoplanktonjának rendszeres vizsgálatát 1979-ben kezdtük el a gödi szakaszon, az 1669-es folyókilométer szelvényben, hetenkénti gyakorisággal. Az évtizedes eredmények értékelésével bizonyítottuk, hogy egy eutrófikus nagy folyóban ($50\text{--}100\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$ -nél nagyobb vízhozamúak), melynek sebessége $1\text{--}1,5\text{ m s}^{-1}$ közötti, már találhatók euplanktonikus fajok, a relatíve gyors áramlás és a turbulencia miatt többé-kevésbé homogén eloszlású a fitoplankton. Ebben az esetben, a közvetlen part menti sávtól eltekintve, a folyó szinte teljes víztömegében egységes a fitoplankton. Ha a vizsgálati cél megengedi és eltekintünk a parti sáv eltérő jellegétől, a folyó sodorvonalában merített egyetlen vízminta reprezentatívnak tekinthető, elegendő a sodorvonalból gyűjteni egy átlagmintát, időbeni eltolással. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy egy vödörbe öt percen keresztül, percenként egy liternyi felszín közeli vízmintát merítünk, s ha a vödör megtelt, abból az átlagmintából veszünk ki vizsgálatához egy-két litert. Így kb. 500–600 m-es „folyószakasznyi” mintát gyűjtünk, ami homogenitását tekintve már teljesen elfogadható (Kiss és munkatársai. 1996, Kiss 2004).

A folyóvizek esetében gyakran a folyásirányban bekövetkező változások nyomon kísérése is fontos, hisz itt a lefelé haladó vízben jönnek létre az „időbeni változások”. Ezeknél a vizsgálatoknál néhány óra, néhány napos eltolással úgy célszerű a mintákat egymás után meríteni, hogy az alsóbb szakasz mintáját lehetőleg annyi idő múlva

gyűjtsük, amennyi idő alatt a felső mintavételkor vizsgált víztömeg oda leér. Ezt a módszert Uherkovich alkalmazta először a folyókutatásban, és reptációs módszernek nevezte (UHERKOVICH 1979). Elméletileg természetesen nem lehet pontosan ugyanabból a víztömegből gyűjteni, de a gyakorlat azt igazolta, hogy hossz-szelvény vizsgálatánál ez a módszer a legcélravezetőbb.

A folyóvizek fitoplankton fajainak jelentős része egy-két nap alatt, vagy annál rövidebb idő alatt is képesek osztódni. Emiatt már egy hét alatt olyan mennyiségi és gyakran faj-összetételbeli változások is bekövetkezhetnek, aminek pontos megismeréséhez mindenképp hetente egy alkalommal célszerű mintát gyűjteni. Dunai tapasztalatok azt mutatták, hogy a mennyiségi viszonyait tekintve gyorsan változó fitoplankton vizsgálata során a kéthetes gyakoriságú mintavétel, átlagosan 10%-os hibahatáron belüli pontosságot eredményez. A mintavételek ritkulásával ez a hibahatár jelentősen növekszik (Kiss és munkatársai. 1996).

Szintén dunai kutatási eredmények bizonyítják, hogy nyáron, ha nagy egyedszámú a fitoplankton, egyetlen napon belül is jelentős mennyiségi különbségek figyelhetők meg. Kora reggel legkisebb a fitoplankton tömege, az a-klorofill koncentráció napközben növekszik és késő délutánra 10–50%-kal is nagyobb lehet. Ezt az egyetlen napon belüli változást is figyelembe kell venni a mintavételi stratégia kialakításánál (Kiss 1996).

A Dunában a bevonatot vagy mesterséges alzatok kihelyezésével, vagy parti kövekről gyűjtött minták alapján tudjuk vizsgálni. Mivel nagy folyók bevonat vizsgálatára kevés példát találtunk, kidolgoztuk a part menti kövekről történő kvantitatív gyűjtés technikáját is. A kvantitatív minta gyűjtése számos esetben nagyon fontos. A folyókon épült tározók hatására bekövetkező egyedszám növekedés nyomon kísérése, a bentonikus eutrofizáció előretörésének tanulmányozása esetén tudnunk kell, hogy mennyi alga él egységnyi felületen, nemcsak azt, hogy milyen fajokból áll a bevonat. Ehhez a part menti kövekről úgy távolítottuk el a bevonatot, hogy egy megfelelően kialakított, peremes szilikon csövet a kőhöz szorítva egy fűrőgép tokmányába befogott fogászati kefével alaposan lekeféltük, majd a csőből pipettával kiszívtuk a mintát és kis edénykébe tettük. Ezután csapvízzel még háromszor átmostuk a csövet, illetve a cső által határolt kőfelületet, ugyancsak kipipettázva a vizet minden átmosásnál. Így a bevonatot ismert felületről távolítottuk el. A mintavétel során mindig ügyeltünk arra, hogy a kő sodorvonal felőli részéről gyűjtsünk (Ács és munkatársai. 2006).

DUNAI FITOPLANKTON VIZSGÁLATOK

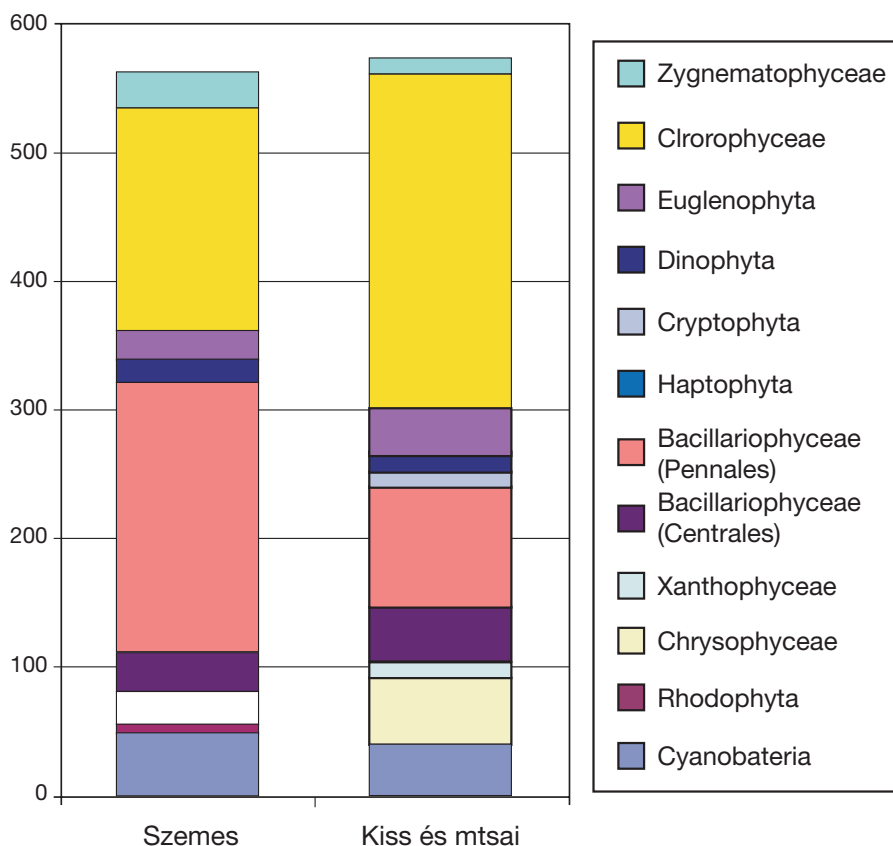
A fitoplankton fajösszetétele

A Duna alga-flórájának fajösszetételéről a legrészletesebb összeállítást SZEMES (1967a) publikálta, aki 1802 taxont jelzett a folyó teljes hosszáról. A következő nagy összefoglalás KUZEL-FETZMANN (1998) munkája, aki Szemes előbbi dolgozatának és az azóta megjelent publikációk adatait rendszerezte. Sok helyen a szinonim neveket is jelölte, és összesen 2696 taxont sorolt föl.

A magyarországi Duna-szakasz fitoplanktonjára kisvízes időszakban a nagy fajgazdagság jellemző. 1978 őszén folytatódó kutatások során a Duna főágának és mellékágainak fitoplanktonjából eddig 583 algataxont sikerült kimutatnunk. Közülük 40 a

Cyanobacteria, 55 a Chrysophyceae, 14 a Xanthophyceae, 142 a Bacillariophyceae (Centrales 47, Pennales 95), 2 a Raphidophyceae, 11 a Cryptophyta, 10 a Dinophyta, 41 az Euglenophyta, 268 pedig a Chlorophyta (256 Chlorophyceae, 12 Zygnematophyceae) divízióba illetve családba sorolható (Kiss 1987, Kiss és GENKAL, 1993, SCHMIDT és Kiss 1989, SCHMIDT és munkatársai 1994).

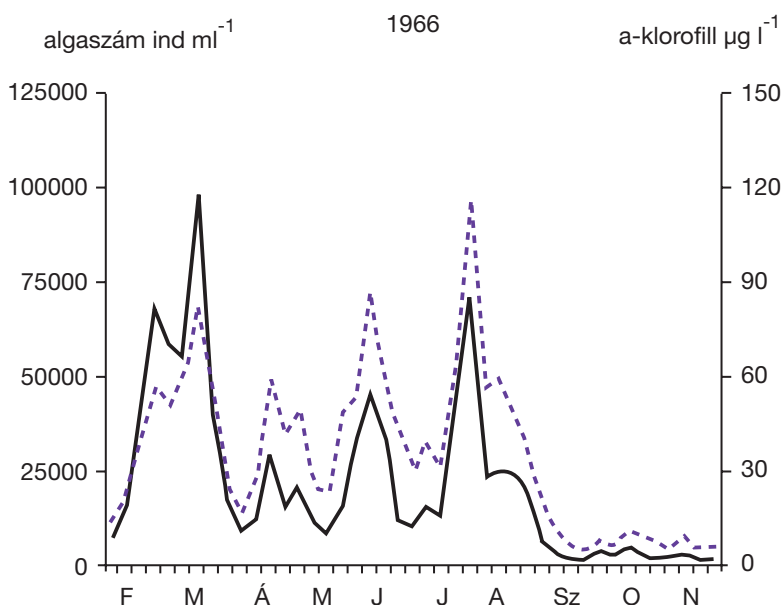
A fajok megismerésére irányuló kutatások során a Dunában, napjainkban élő fajokat Szemes 60-as évekből származó fajlistájával összevetve megállapítható, hogy jelentős változások következtek be a fajösszetételben (1. ábra). A Centrales, Chlorococcales, Volvocales fajok számának növekedése, valamint a Pennales és Conjugatophyceae fajok számának csökkenése arra utal, hogy az 50-es évek végén, 60-as évek elején a Duna fitoplanktonjában jóval több tichoplanktonikus és kevesebb euplanktonikus alga élt. A dunai erőmű építési program eredményeképp a vízlépcsők által visszaduzzasztott mederszakaszon csökkent a vízsebesség, ami elősegítette az euplanktonikus fajok előretörését és a tichoplanktonikusak háttérbe szorulását. A fajok konstancia viszonyai a főágban azt mutatják, hogy a teljes fajszámnak csak mintegy 3%-a tekinthető konstans fajnak az év során és a fajok 25–35%-a csak egyetlen alkalommal kerül elő, vagyis közel 200 fajt csak színező elemnek lehet tekinteni.



1. ábra. A fő fitoplankton csoportok taxon száma a magyarországi Duna-szakaszra vonatkozóan Szemes (1967) adatai, valamint az utóbbi 25 év vizsgálata alapján.

A fitoplankton mennyiségi viszonyai

A fitoplankton mennyisége (egyedszám, biomassa, a-klorofill tartalom) a gödi Duna-szakaszon áradások alkalmával kicsi, kisvízes időszakokban jelentős lehet és jellegzetes évszakos különbségeket mutat. November január között kis egyedszám jellemző, egyetlen nagyobb rendszertani csoport sem jelentős (200–500 ind ml⁻¹-es egyedszám, 0,5–1 mg l⁻¹-es biomassa, 1–2 µg l⁻¹-es a-klorofill, 2. ábra). Az fitoplankton mennyisége gyakran már február közepén emelkedni kezd és télvégi, kora-tavaszi fitoplankton csúcsok alakulhatnak ki (2 000–25 000 ind ml⁻¹-es egyedszám, 2–10 mg l⁻¹-es biomassa, 10–50 µg l⁻¹-es a-klorofill). Ilyenkor néhány Centrales faj (pl. a hidegtűrő *Stephanodiscus minutulus*) alkotja a fitoplankton tömegének közel 80%-át. Májustól szeptemberig jelennek meg a Dunán a fajokban leggazdagabb és legnagyobb népességű fitoplankton együttesek. Ilyenkor a Centrales és Chlorococcales fajok alkotják a biomassa 60–70%-át (10 000–100 000 ind ml⁻¹-es egyedszám, 5–40 mg l⁻¹-es biomassa, 30–150 µg l⁻¹-es a-klorofill). Nyári időszakban a fitoplankton mennyisége a nap során is változik, mint ezt az előző fejezetben leírtuk. A nagytömegű fitoplankton együtteseket egy-egy áradás elmossa, regenerálódása az áradás levonulása után egy-két héten belül megtörténik.



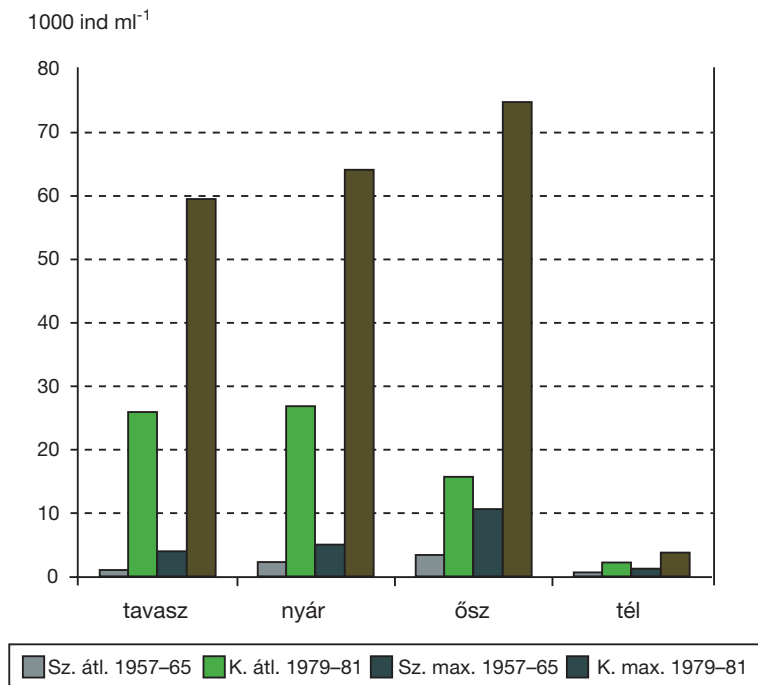
2. ábra. A fitoplankton egyedszámának (folyamatos vonal) és az a-klorofill koncentrációjának (szaggatott vonal) változása Gödnél.

A fitoplankton hosszú-távú változásai

A folyóvízi fitoplankton hosszú távú változásaira vonatkozó kutatásaink eredményei bizonyítják, hogy a folyó életében, a fitoplankton alakulásában bekövetkező lényeges

törvényszerűségek, változások csak sokéves vizsgálattal ismerhetők meg. Különösen akkor fontosak a hosszú éveken, több évtizeden át folyamatosan végzett kutatások, ha a folyó szabályozása térben és időben olyan méretű, mint a Dunáé (Kiss 1994).

SZEMES 1957–65 közötti algaszám adatait sajátjainkkal összevetve megállapítottuk, hogy mind az átlagos, mind a maximális egyedszámok 5–10-szeresükre emelkedtek a 70-es évek végére (1957–65 között a vegetáció periódusban 5–12 ezer ind ml^{-1} közöttiek, az utóbbi 15 évben 50–100 ezer ind ml^{-1} körüliek voltak a maximumok, 3. ábra, Kiss 1985, 1994). A változások okairól az eutrofizálódás fejezetben írunk.



3. ábra. Az átlagos (átl.) és maximális (max.) fitoplankton egyedszám értékek Budapesten illetve Gödöllőn gyűjtött minták alapján (Sz. – SZEMES, K. – KISS, 1960–1969 fkm).

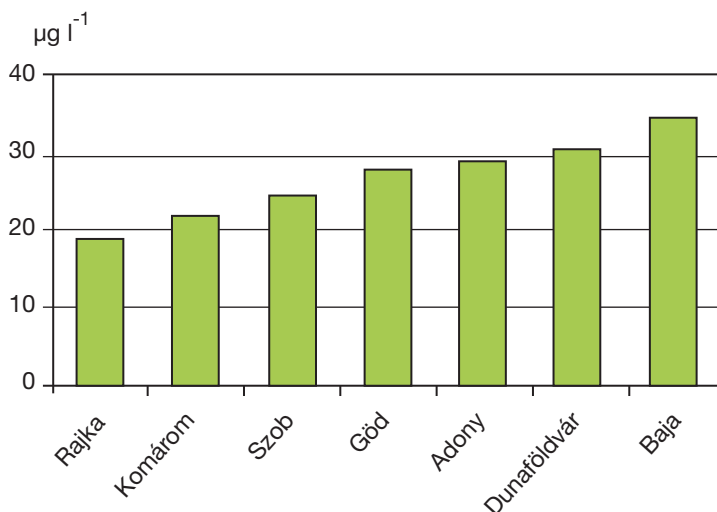
A fitoplankton térbeli változásai

A Duna fitoplanktonjának térbeli változásait számos esetben vizsgáltuk. Ez leggyakrabban a magyarországi szakaszra vonatkozott, de a szlovák-magyar, osztrák-magyar, német-magyar szakaszt is többször vizsgáltuk és sor került a Duna-deltától Pozsonyig, Bécsig történő gyűjtésre és elemzésre is.

A német szakasztól (pl. Nasgenstadt 2636 fkm) Gödöllőig a folyásirányban megfigyelt változásokkal kapcsolatban megállapítottuk, hogy a főágban egyre diverzebb, fajokban gazdagabb fitoplankton közösségeket találtunk, melyet a mellékfolyók színesítettek, módosítottak, gazdagítottak. A magyarországi szakaszon a fitoplankton fajösszetétele ugyanabban a vizsgált időpontban már meglehetősen stabil, hisz Rajkától Budapestig a

közel 250 km-es utat a víz 2–3 nap alatt megteszi, s közben jelentős mellékfolyók nincsenek. Ez természetesen nem jelenti azt, hogy apró különbségek ne lennének. Vannak olyan fajok, melyek a rajkai szelvényben gyakoribbak (pl. *Cyclotella comta*, *Fragilaria arcus*) mint Gödön vagy Baján (KISS és GENKAL 1996).

A fitoplankton mennyisége is jellegzetesen változik a folyásirányban. A vegetáció periódusban Rajkától Bajáig haladva, a nagyvizes időszakokban csupán 10–20%-kal növekszik, kisvizes időszakokban azonban megduplázódhat, megnégyeseződhet, akár az algaszám, akár az a-klorofill koncentráció (4. ábra). A nyolcvanas évek során nem volt ritka, hogy a rajkai szakaszon mezotrófikus, mezo-eutrófikus víz mire Bajára ért eu-politrófikussá, hipertrófikussá vált (KISS és munkatársai. 1991, SCHMIDT és munkatársai. 1994).



4. ábra. Az a-klorofill koncentrációjának alakulása a Duna magyarországi szakaszán Rajkától Bajáig (1987. február-november közötti átlagok).

A német-osztrák Duna-szakaszon, ahol nagyon sok tározót építettek, előzetes elképzeléseinkkel ellentétben viszonylag faj és egyed gazdag fitoplanktont találtunk. Már a Duna-forrása alatt néhány kilométerrel a Breg folyócskában (ez a Duna egyik „forrás folyója”) számos euplanktonikus faj is előkerült, melyek a Breget övező kis tavacskákból, elöntésekből származtak. Immendingennél (2830 fkm) már jelentős tömegben voltak jelen Centrales fajok, melyek a Duna alsóbb szakaszain fordulnak elő rendszeresen. Ingolstadttnál (2465 fkm) pl. a tichoplanktonikus fajok mellett már a lassú áramlású szakaszokon gyakoribb *Rhizosolenia triens*, *R. longiseta* és *Skeletonema potamos* is megjelent. Az egyedszám 80–90%-át a Centrales fajok adták, a folyó fitoplanktonja a középszakaszra jellemzően nagy egyedszámú volt (KISS és GENKAL 1996). A magyarországi szakasz felé haladva tovább növekszik a fitoplankton tömege és Pozsony alatt már 30–80 µg l⁻¹-es klorofill koncentrációk is gyakoriak (KISS 1999).

DUNAI BEVONATLAKÓ ALGA-EGYÜTTESEK VIZSGÁLATA

A bevonatlakó alga-együttesek térbeli változásai, fajösszetétele

A Duna forrásától Gödlig a főágból és jelentősebb mellékfolyóiból gyűjtöttünk bevonatmintát 2000–2002-ben. Megállapítottuk, hogy a forrásvidék epilitikus algaflórája jelentősen különbözik a többi szakaszétól, később azonban a tározók hatására elmosódnak a különbségek, a felső- és közép-szakasz jellegzetességei nehezen különíthetők el (Ács és munkatársai. 2003). A bentonikus kovaalgákkal történő vízminősítés alapján a Duna vízminősége Budapest fölött jó, alatta a vizsgált helyeken közepes, a forrásvidéknél kiváló volt (8. ábra).

A Duna bevonatlakó algáinak első, szemi-kvantitatív vizsgálatát Szemes végezte, aki kikötőpontonok oldaláról gyűjtött bevonatot (Szemes 1961). A kvantitatív vizsgálatok 1984-től váltak rendszeressé, melyek 2004-től új elemekkel egészültek ki: pikoalga abundancia és molekuláris biológiai vizsgálatokkal, valamint kovaalgák pásztázó elektron-mikroszkópos vizsgálataival.

A kovaalgák részletes taxonómiai elemzése során két, a Dunára nézve új előfordulású fajt találtunk, a *Hippodonta subtilissima* és a *Navicula novaesiberica* fajokat. Kimutattuk az invázió *Reimeria uniseriata* megjelenését, rendszeres, gyakori előfordulását a Dunában Gödnél.

Vizsgálataink szerint a Duna bevonatában jelentős, akár 60% -ot is meghaladó relatív abundanciát érhetnek el az oda kiüledő pikoalgák. A főág planktonjában a pikoalgák legmagasabb egyedszáma közel 7000 ind ml⁻¹. Ezek az értékek azt mutatják, hogy a pikoalgák anyagforgalmi szerepe a Dunában sem elhanyagolható.

Az Uppsalai Egyetem Limnológia Tanszékével együttműködésben hagyományos és új molekuláris biológiai módszerrel hasonlítottuk össze a Duna bevonatlakó algáinak taxonómiai összetételét. A mintákat egy molekuláris ujjlenyomat módszerrel, a terminális restrikciós fragmenthossz polimorfizmussal elemeztük, a 18SrDNS egy szakaszát használva templátként. A TRFLP mintázatok alapján UPGMA analízissel csoportosítottuk a mintákat. Cluster analízissel megállapítottuk, hogy a főági bevonat minták esetében igen jó az egyezés a molekuláris ujjlenyomat, illetve a mikroszkópos vizsgálatokkal nyert adatok között, ami alátámasztja, hogy a molekuláris ujjlenyomat módszerek a jövőben hatékony eszközei lehetnek egy gyors, könnyen standardizálható biomonиторozó rendszernek és vízminőség elemzésnek. Egyben rámutattunk arra, hogy a módszert tovább kell fejleszteni a gyakorlatba történő bevezetése előtt: taxon-specifikus primerek tervezésére, illetve az ún. „univerzális” primerek tökéletesítésére van szükség. Emellett kiterjedt klónkönyvtár készítésekkkel és szekvencia analízisekkel egy olyan adatbázis létrehozására van szükség, mely alapján a TRFLP analízissel kapott terminális fragmentek filogenetikai hovatartozása gyorsan, *in silico* megállapítható (SZABÓ és munkatársai. 2007).

A bevonatlakó alga-együtteseik kolonizációja

A bevonatvizsgálatok fontos kérdése az alzatok betelepülési folyamatainak ismerete. Kolonizációs vizsgálataink során mattított tárgylemezeket helyeztünk le a Duna főágában Gödnél, sodorvonalba. A kolonizáció korai stádiumában az ún. pionír kolonista fajok dominanciája jellemzi a bevonatot. Ebben a fázisban még nem az adott vízminőséget reprezentáló, hanem a gyors immigrációs rátájú fajok közössége építi fel a bevonatot. Kísérletet végeztünk arra vonatkozóan, hogy a Dunában minimálisan mennyi ideig tart az üres alzat benépesülése. Nyári kisvízes időszakot választottunk, mikor a legintenzívebb a bevonat növekedése, és az áradások alkalmával megnövekvő vízsebesség lemosó hatása valamint a megnövekedett lebegőanyag tartalom árnyékoló hatása nem befolyásolja a kolonizáció menetét.

A betelepülés korai szakaszának megismerését célzó kutatások alkalmával azt tapasztaltuk, hogy az alzatok lehelyezése után 6 óra múlva, a baktériumok mellett már megjelentek az első algasejtek is. Az első betelepülő fajok apikális párnával rögzülnek. Számos kovaalga fajnál a sejt csúcsi részén, egy erőteljesebben lyuggatott terület, az u.n. apikális pórus mező található. Az algasejt ezen a mezőn keresztül kocsonyás anyagot választ ki, mely rögzíti a sejtet az alzathoz, vagy az egyes sejteket egymáshoz. Ilyen gyorsan és hatékonyan tapadó faj a *Diatoma vulgaris* Bory. Az alzat lehelyezését követően 9 óra múlva már 6-, 24 óra elteltével pedig 20 fajból állt a bevonat. Kezdetben a bevonatot a nagy immigrációs rátájú és kis nettó-növekedési rátájú (korai K-stratégista) fajok dominanciája jellemzi, pl. *D. vulgaris*, *Fragilaria ulna* (Nitzsch.) Lange-Bert., melyek nyél nélkül, főleg apikális párnaképzéssel rögzülnek az alzathoz. Ekkor még a kocsonyanyél-képzésre képes fajok (pl. *Gomphonema parvulum* Kütz.) is nyél nélkül, közvetlenül tapadnak. A pionír kolonista fajok dominanciájával jellemzett közösséget felváltja a köztes immigrációs rátájú és nagy nettó növekedési rátájú (r-stratégista) fajok közössége (pl. *Melosira varians* Agh.). A bevonatban egyre több kocsonya-nyeles forma jelenik meg, így a fénnyel, tápanyaggal jobban ellátott részekre (a bevonat külső régiójába) jutnak az algasejtek. A kolonizáció késői fázisában válnak dominánssá a lassú immigrációjú és kis nettó növekedési rátájú, de jó tápanyag kompetitor (késői K-stratégista) fajok: pl. *Navicula capitatoradiata* Germain, *N. tripunctata* (O. F. Müller) Bory. Az így kialakult sűrű bevonatban egyre több planktonikus fajt is találhatunk, pl. *Skeletonema potamos* (Weber) Hasle, amik beleakadnak, kiülekszenek a bevonat hálószerű szövevényébe. Megállapítottuk, hogy a behelyezett üres alzat benépesülése hozzávetőlegesen egy hónap alatt megtörténik, ez tekinthető érett bevonatnak (Ács és munkatársai. 2000).

2006 április-májusában megismételt kolonizációs vizsgálatok az 1. 2. 5. 8. 13. 16., 19. és 28. napon gyűjtöttünk mintát, melyeket fény-, fluoreszcens- és pásztázó elektronmikroszkóppal, illetve a 16S rDNS és 18S rDNS szakaszok polimeráz láncreakcióval való felszaporítását követően terminális restrikciós fragmenthossz polimorfizmussal vizsgáltuk. Mind az alga egyedszám, mind a pikoalga abundancia gyarapodó tendenciát mutatott az idő elteltével. A fajösszetétel és a TRFLP vizsgálatok eredményei alapján is jól el lehetett különíteni a korai és a késői kolonizációs fázisba tartozó mintákat. A 18S rDNS és 16S rDNS terminális restrikciós fragmentek száma nem mutatott emelkedő tendenciát a kolonizációs idővel párhuzamosan. A TRFLP mintázat dinamikus volt, a terminális fragmentek legnagyobb része csak egy mintában fordult elő, jelezve a bevonat jelentős diverzitását és a mikrobiális közösség dinamikusságát.

A DUNA TROFITÁSI SZINTJE, AZ EUTROFIZÁLÓDÁS ALAKULÁSA ÉS KIVÁLTÓ TÉNYEZŐI

Szemes 1957–65 közötti algaszám adatait összevetve az 1979–2000 közöttiekkel, megállapítottuk, hogy mind az átlagos, mind a maximális egyedszámok 5–10-szeresükre emelkedtek a 70-es évek végére (3. ábra). A jelentős algaszám növekedés okait keresve rámutattunk, hogy a növényi tápanyagkínálat az 50-es évek végéhez képest közel két-szeresére növekedett (a 90-es évek elején az éves átlagos ásványi-N $2,85 \text{ mg l}^{-1}$, a $\text{PO}_4\text{-P}$ $0,185 \text{ mg l}^{-1}$ volt). Hangsúlyoznunk kell azonban, hogy a korábbi időszak tápanyagkínálata is bőségesen elegendő lett volna a maihoz hasonló trofitási szint kialakulásához. A meteorológiai és hidrológiai tényezők (áramlási sebesség, vízjárás) általánosságban nem változtak, kivéve a vízlépcsők hatását. Egyedül a folyó fényklimája, illetve az azt döntően alakító lebegtetett hordalék mennyisége változott jelentősen a 60-as évek közepe óta. A német majd az osztrák Duna-szakaszon és jelentősebb mellékfolyóin a 60-as években nagy lendületet vett a vízlépcső építési program. A tározókban az áramlási sebesség csökken, a hordalék egy része kiülepszik. Egy-egy tározóban a kiüledés mértéke kicsi, de az egymást követő tározókban összességében jelentős (a Dunán és nagyobb mellékfolyóin több mint 100 vízlépcső épült). Ennek eredményeképp az 1970-es évek végére a lebegtetett hordalék mennyisége felére, harmadára csökkent (kisvízes időszakokban közel 20%-ra), a fényáteresztés pedig jelentősen javult. Ez járult hozzá a fitoplankton mennyiségének nagymértékű növekedéséhez (Kiss 1994).

A Duna növényi tápanyag-ellátottsága bőséges, ezért a folyó potenciálisan hipertrófikus. A gödi szakasz aktuális trofitása egyrészt az évszakoktól, másrészt a vízjárástól függ. A fitoplankton tömege, az a-klorofill koncentráció alapján becsülve az aktuális trofitást, télen kisvízes időszakokban eléri vagy meghaladja az oligotrófikus-, mezotrófikus zóna határát (a maximális a-klorofill koncentráció $8 \mu\text{g l}^{-1}$ fölötti), áradások alkalmával azonban csupán oligotrófikus. Kora-tavasztól késő-őszig (esetenként már február közepétől november végéig) kisvízes időszakokban eutrófikus, de nagyon gyakran politrófikus, hipertrófikus (a maximális a-klorofill koncentráció $75 \mu\text{g l}^{-1}$ fölötti). Az 1950-es-, 60-as évek váltójától a 70-es évek végére, az algaszám értékek alapján becsülve, 5–10-szeresére növekedett a magyarországi Duna szakasz aktuális trofitási szintje. A jelentős növekedés okát elsősorban a vízlépcsők komplex hatásaként lehet értelmezni.

Nemcsak éves szinten nőtt az algaszám, hanem pl. a Bösi vízlépcső és Dunacsúnyí tározó üzembe helyezését követően szinte minden évben már februárban gyors növekedésnek indult a fitoplankton mennyisége a hideg, mindössze 1°C -os Dunában, és Gödnél márciusban a maximális értékek többször elérték, néha meghaladták az $30\,000\text{--}50\,000 \text{ ind ml}^{-1}$ -es egyedszámot ($20\text{--}40 \text{ mg l}^{-1}$ -es biomassa, a-klorofill $90 \mu\text{g l}^{-1}$, Kiss 1999, 2000).

Az a véleményünk, hogy a trofitás jelenlegi szintje a folyó vízminősége szempontjából már egyértelműen kedvezőtlen. Nem csupán azért, mert a sok alga az ivóvíztisztítást nehezíti, az ivóvízbázis minőségét rontja (potenciálisan íz és szagokozó, illetve toxikus algák jelenléte), hanem azért is, mert már a termelés-lebontás régi „természetes” folyamatára is kedvezőtlen hatású. Erre figyelmeztet az oldott oxigén koncentrációjának utóbbi évtizedbeli alakulása, amikor az „oxigén olló” mindinkább kinyílt és a minimum-maximum értékek közti távolság mind nagyobb. Erre figyelmeztet a szigetközi és gemenci mellékágak esete is, ahol ha nagy tömegű volt a fitoplankton, a felszínen oxigén túlteltettség, a mélyebb rétegekben akár teljes oxigén hiány is kialakult, s ez a jelenség a mélyebb tározókban is felléphet (Kiss 2005).

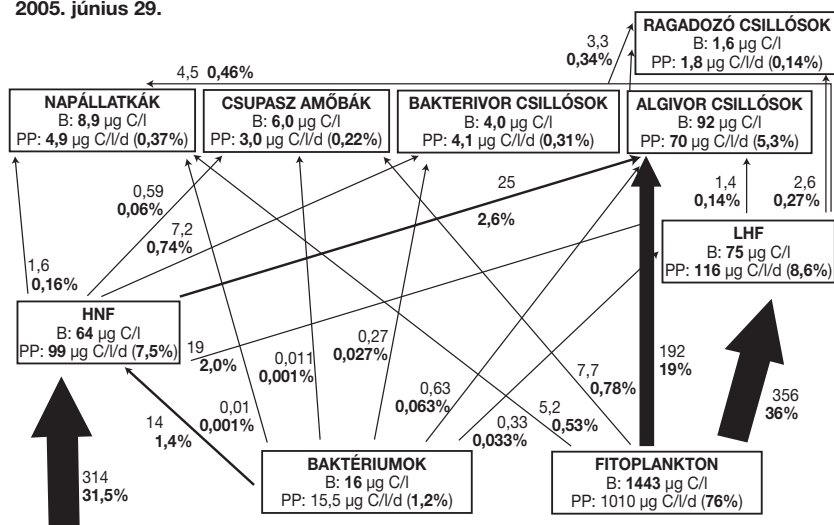
AZ ALGAFLÓRA SZEREPE A DUNA ELSŐDLEGES TERMELÉSÉBEN, ANYAGFORGALMÁBAN, A TÁPLÁLKOZÁSI KAPCSOLATOKBAN

A Magyar Dunakutató Állomáson az elsődleges termelést elsősorban oxigén detektálással vizsgálták. Dvihally és munkatársai szlovák és magyar kutatók bevonásával elemezték az elsődleges termelést Rajka és Baja, illetve Pozsony és Baja között, összehasonlítva a fitoplankton mennyiségi viszonyaival (DVIHALLY és munkatársai. 1982, BARTALIS és munkatársai. 1987). Összefoglaló munkájában (TAMÁS-DVIHALLY 1993) elemezte a sokéves kutatás eredményeit, rámutatva arra, hogy a vegetáció periódusban a fitoplankton milyen meghatározó szerepet tölt be a Duna oxigén ellátásában, szervesanyag termelésében, melynek mértéke Rajka és Baja közt szembetűnően növekszik.

Az algák és az őket fogyasztó algivorok kapcsolatának vizsgálatával, valamint az elsődleges termelés és az elsődleges fogyasztás szerepének kvantitatív megközelítésével először BOTHÁR és KISS (1990) foglalkozott. 1981-ben április és szeptember közötti vizsgálatok alapján megállapították, hogy tenyészdíszidőszakában a fitoplankton száraztömege 3000–12000 $\mu\text{g/l}$ között, a crustacea zooplankton száraztömege pedig 1,2–12 $\mu\text{g/l}$ között változott. A termelések alapján megállapítható, hogy az elsődleges termelés 0,03%-a hasznosul a crustacea zooplanktonban, tehát a crustacea zooplankton fitoplanktonra kifejtett legelő hatása csekély.

2004–2005 között részletes, minden formakörre kiterjedő protozoológiai vizsgálatok alapján képet kaptunk az algák és a protozoonok táplálkozási kapcsolatainak minőségi és mennyiségi oldalairól is (5. ábra).

2005. június 29.



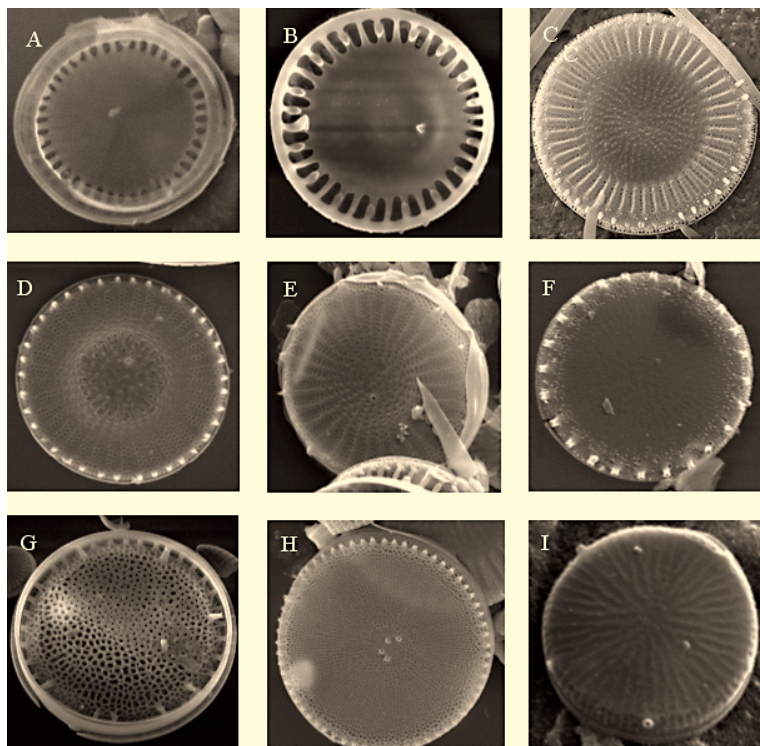
A kompartmentek közötti összes szénáram: 986 $\mu\text{g C/l/d}$

A kompartmentek közötti összes produkciója: 1323 $\mu\text{g C/l/d}$

5. ábra. A mikrobiális táplálékhálózat a Duna planktonjában 2005 nyár elején. A nyilak vastagsága a szénáramokkal arányos. Az ábra jobb oldalán látható a fitoplanktonra épülő klasszikus herbivor táplálékhálózat. B: biomassza, $\mu\text{g C l}^{-1}$, PP: potenciális produkció, $\mu\text{g C l}^{-1} \text{ nap}^{-1}$ egységekben, HNF: heterotróf nanoflagelláták, LHF: nagy heterotróf ostorosok. A százalékok a kompartmentek közti összes szénáram illetve a kompartmentek összprodukciójának százalékos arányát adják.

Számos alga és protozoon faj közt közvetlenül bizonyítható táplálkozási kapcsolat in situ táplálékvakuum elemzések segítségével, a fogyasztható algák mérete pedig meghatározható. Sok algivor protozoon faj és táplálékalgák biomasszájának időbeni változása hasonló, ez közvetett módon is igazolja a táplálkozási kapcsolatot. Az algák és protozoonok mennyiségének ismerete, a táplálkozási kapcsolatok feltárása és irodalmi adatok segítségével felállítható egy anyagforgalmi modell, melyben a táplálkozási kompartmentek közti szénáramok, és a fitoplankton termelés hasznosulása is kvantitatív módon megfogalmazható. Az anyagforgalmi modell a faji felbontású táplálkozási viszonyokat egyesíti nagyobb kompartmentekbe. A modell a vizsgált év során minden évszakban elkészíthető.

Az algákból protozoonokba tartó szénfluxusok alapján elmondható, hogy a legfontosabb algivor protozoonok az algivor csillósok és a nagy heterotróf ostorosok (pl. *Paraphysomonas* sp., *Collodictyon triciliatum*). Közel egy nagyságrenddel kisebb a csupasz amőbák és a napállatkák alga fogyasztása. A nyár eleji időpontban a fitoplankton biomasszája 1440 $\mu\text{g C/l}$, az algivor csillósoké 90 $\mu\text{g C/l}$, a nagy heterotróf ostorosoké pedig 75 $\mu\text{g C/l}$. Az elsődleges termelés évszakonkénti hasznosulása a következő: télen 5%, tavasz végén 10%, nyár elején 54%, ősz végén 3,5%. Az algivor protozoonok tehát az év egyes időszakaiban igen nagy hányadát fogyasztják el az elsődleges termelésnek, mely során mind az algamennyiséget, mind a fajösszetételt jelentősen befolyásolhatják (Kiss, Á 2007).



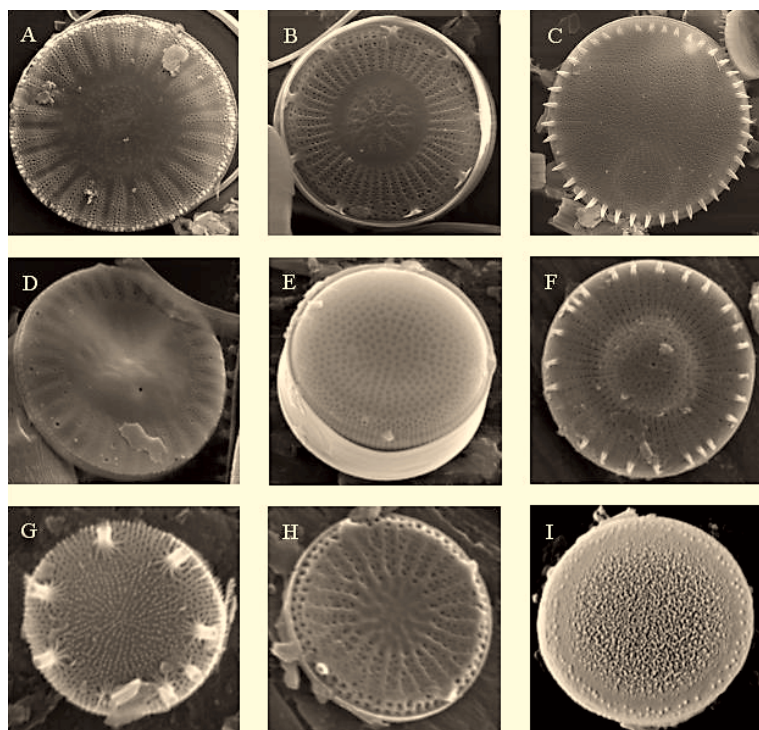
6. ábra. Centrales fajok pásztázó elektronmikroszkópos képei- A: *Cyclotella delicatula*, B: *C. scaldensis*, C: *C. meneghiniana*, D: *Cyclostephanos dubius*, E: *Stephanodiscus minutulus*, F: *Thalassiosira guillardii*, G: *T. lacustris*, H: *T. weissflogii*, I: *T. pseudonana*.

NAGY FOLYÓK, TERMÉSZETVÉDELMI ÉRTÉKET KÉPVESELŐ ÁLLÓVIZEK CENTRALES FAJAINAK TAXONÓMIAI KUTATÁSA FÉNY, ELEKTRONMIKROSKÓPOS ÉS MOLEKULÁRIS BIOLÓGIAI MÓDSZEREKKEL

A Duna fitoplanktonjának egyik legjelentősebb csoportja a Centrales fajok. Az 1980-as évek elején elkezdett elektronmikroszkópos vizsgálatokkal mintegy harminc, hazánkra nézve új Centrales taxon jelenlétét mutattuk ki, és azok mennyiségi viszonyait elemeztük.

Bebizonyítottuk, hogy jóval gazdagabb a folyó Centrales flórája, mint azt az irodalom alapján gondolni lehetett. Korabeli minták elektronmikroszkópos vizsgálatával tisztáztuk, hogy az 1950-es évek végén 1960-as évek elején a legtöbb ma is megtalálható faj jelen volt a planktonban, csak mennyiségük és egymáshoz viszonyított arányuk volt más (Kiss 1986). A hossz-szelvény vizsgálatok során a főágból és a mellékfolyókból olyan fajok is előkerültek, melyek első európai előfordulásnak tekinthetők (pl. *Thalassiosira gessneri*).

Kutatásaink célja elsősorban az volt, hogy a vizsgált fajok lehető legszélesebb morfológiai variabilitását ismerjük meg, ezzel több esetben a szinonimizálásra is lehetőség nyílt. Részletesen vizsgált fajok: *Actinocyclus normanii* (Kiss és munkatársai. 1990), *Cyclotella caspia* (Kiss és munkatársai. 1988), *C. choctawhatcheeana* (Burić és munkatársai. 2007), *C. delicatula*, *C. distinguenda* (Kiss és munkatársai. 2007), *C. ocellata* (Kiss és munkatársai. 1996, 1999), *C. scaldensis* (Kiss és Ector 2000), *Pelagodictyon*



7. ábra. Centrales fajok pásztázó elektronmikroszkópos képei. A: *Cyclotella meduane*, B: *Discostella stelligera*, C: *Stephanodiscus hantzschii* f. *tenuis*, D: *Cyclotella atomus*, E: *Actinocyclus normanii*, F: *Stephanodiscus neoastrea*, G: *Skeletonema potamos*, H: *Discostella pseudostelligera*, I: *Melosira varians*.

fritzi, *P. spinosum*, *P. tenue* (GENKAL és KISS 2000). *Stephanodiscus invisitatus* (KISS 1988, GENKAL és KISS 1991), *Thalassiosira gessneri*, *T. guillardii*, *T. lacustris*, *T. pseudonana*, *T. weissflogii* (6., 7. ábra, KISS 1984, KISS és munkatársai. 1984, 1999).

Új taxon leírására csak három esetben került sor: *Cyclotella atomus* var. *gracilis* GENKAL et KISS, (GENKAL és KISS 1993), *Cyclotella hispanica* KISS, Hegewald et Acs (KISS és MUNKATÁRSAI. 2002), *Stephanodiscus invisitatus* f. *hakanssonii* Genkal et KISS (GENKAL és KISS 1991). A fenti eredmények Európa több tucatnyi folyó és állóvizéből gyűjtött anyag vizsgálatára épültek.

Az idők folyamán világossá vált, hogy célszerű az elektronmikroszkópos, morfológiai alapokon nyugvó taxonómiai vizsgálatokat molekuláris biológiai vizsgálatokkal kell kiegészíteni. 1998-ban az ELTE Mikrobiológiai Tanszékével együttműködve kezdtük el a kovaalgák riboszómális operonja különböző szakaszainak (18S rDNS, ITS 1, ITS 2) szekvencia analízisére irányuló kutatásokat. Első eredményeinkkel néhány Pennales (*Navicula*, *Eolimna* fajok – BESZTERI és munkatársai. 2000) és Centrales (*Cyclotella* fajok, BESZTERI és munkatársai 2005a, b) faj rendszertani besorolását, önálló fajként való tárgyalását sikerült tisztáznunk. Már az eddigi eredmények is egyértelműen rámutatnak arra, hogy a kis morfológiai különbségek alapján történő fajleírásokat át kell gondolni, létjogosultságát molekuláris biológiai módszerekkel is célszerű vizsgálni.

MELLÉKFOLYÓK, HOLTÁGAK ÉS MELLÉKÁGAK KUTATÁSA

A potamobiológiai vizsgálatok során folyó helyett folyó-rendszerben kell gondolkodnunk, hisz a folyóban lejátszódó jelenségek elválaszthatatlanok a vízgyűjtőterülettől, a mellékfolyóktól, az ártéri területeken található holtágaktól. Ezért fontosnak tartottuk a Duna mellékfolyóinak, vagy pl. a Tisza egyik holtág csoportjának a kutatását is.

A Duna nagyobb mellékfolyóinak (Iller, Lech, Duna-Majna csatorna, Isar, Enns, Morva, Öreg Duna, Mosoni-Duna, Vág, Garam, Ipoly) algaflóráját három alkalommal vizsgáltuk közvetlenül a dunai torkolatuknál. A bevonatlakó kovaalga együttesek elemzése alapján megállapítottuk, hogy a Duna német és osztrák szakaszán befolyó mellékfolyók jó vízminőségűek, a szlovák és magyar szakasz mellékfolyói pedig, közepes vízminőségűek (8. ábra, Ács és munkatársai. 2006). A mellékfolyók torkolati szakaszára tehát hasonló vízminőségi gradiens jellemző Németországtól Magyarorszáig, mint a főágra.

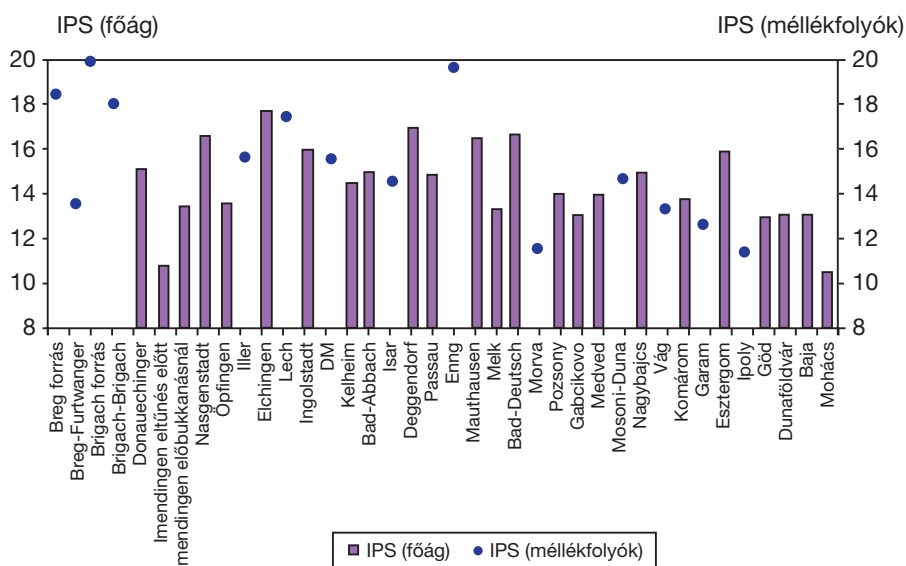
A Magyar Nemzeti Biodiverzitás Monitorozó program részeként kezdtük el 1996-ban, majd 2000, 2001-ben folytattuk a fitoplankton és a bentonikus kovaalgák vizsgálatát néhány tiszai holtágban. Ezek a holtágak egy kivételével (Remete-zugi-holt-Tisza) jelentős emberi hatásoknak kitett, intenzíven horgászott területek. Vízutánptólásukat elsősorban a csapadékból kapják, s csak nagyobb áradások alkalmával öblítődnek át a Tisza vizével. A hosszabb száraz periódusok során vízszintjük jelentősen csökken, gyakran csaknem teljesen kiszáradnak. Ezek a tényezők alapvetően befolyásolják vízminőségüket, algaflórájuk összetételét.

A holtágak fitoplanktonjának és bevonatának fajösszetételét, bizonyos tekintetben mennyiségi viszonyait is elsősorban a tápvíz, vagyis a nagyobb áradások során azokat feltöltő – átmosó Tisza víz algaflórája határozza meg. Az elöntést követően, ha a Tisza visszahúzódik, megszűnik a kapcsolat a főág és a holtágak között, az algaflóra egy ideig még „emlékszik” a tiszai, folyóvízi eredetre, de lassanként átalakul és mind inkább a

sekély, időszakos kis állóvizek alga-együtteseire kezd hasonlítani, számos egyedi jellemvonást mutatva.

A vizsgált holtágak vízében jelentős a növényi tápanyagkínálat. Erre utalnak többek között a vízvirágzások, a makrofiton állomány előretörése, és ezt támasztják alá a bentonikus kovaalgák vizsgálata során kapott eredmények is. Ez hatással lehet a főágra is, hisz az újabb áradás során a holtágakból „kimosódó” algák mind fajaikkal, mind tömegükkel a Tisza algaflóráját gazdagítják, bár közülük jónéhány ott nem szaporodik tovább és rövidebb-hosszabb út után eltűnik.

A tiszai holtágaknál elvégzett vizsgálatok alapján is megállapítottuk, hogy a bevonat algaival inkább a víz potenciális trofitása, míg a fitoplanktonnal az aktuális trofitása becsülhető. Ha ritkán (ritkábban, mint havonta) áll módunkban egy-egy vízből mintát gyűjteni, a bevonat kovaalgáinak a vizsgálatával pontosabban el lehet végezni a víz globális minősítését, mint a fitoplanktonnal (Ács és munkatársai. 2002, Kiss és Ács 2002).



8. ábra. A Duna és jelentősebb mellékfolyói bevonatának IPS átlagértékei a 2000–2002 vizsgálatok során.

2001-ben vizsgáltuk a Duna egyik legszennyezettebb budapesti kis mellékvizének a Rákos pataknak a bentonikus kovaalgáit, hogy segítségükkel képet kaphassunk a patak vízminőségéről. Megállapítottuk, hogy a patak eredeténél mutatkozó jó vízminőség már néhány kilométerrel a forrástól (Gödöllőnél) elfogadhatóra módosul, majd tovább romlik és szennyezett minőséggel éri el a Dunát. Hasonló a helyzet a Szilas patak esetében is, amelyik az eredet után hosszan mezőgazdasági területen folyva át, elfogadható vízminőséggel éri el a Budapest határában fekvő természetvédelmi területet, de minősége itt is csak alig javul, hiszen az intenzíven horgászott Naplás tavon is keresztül folyik. Elhagyva a természetvédelmi területet, vízminősége újra jelentősen romlik. Ezeknek a patakoknak az algavilága már nem képes arra, hogy jelentősen hozzájáruljon a természetes tisztulás folyamatához (SZABÓ és munkatársai. 2004).

RENDKÍVÜLI CIANID ÉS NEHÉZFÉM SZENNYEZÉS HATÁSÁNAK ÉRTÉKELÉSE ALGOLÓGIAI VIZSGÁLATOKKAL

Jelentős hatása volt a Tisza vízminőségére a 2000. évi cianid és nehézfém szennyezésnek. Az első mintavételünkre 2000. február 14-én került sor a még helyenként zajló Tiszából, Szamosból és a szennyezés nélküli Bodrogból, illetve a Szamos befolyása felett Tiszából (Kisarnál). Az algológiai feldolgozás mellett teljes spektrum analízist végeztünk a minták a-klorofill tartalmából, energia és hullámhossz diszperzív spektrofotométerrel ellátott scanning elektronmikroszkóppal vizsgáltuk a mintákat, valamint totál reflexiós röntgen fluoreszcens spektrofotométerrel (TXRF) mértük az algák nehézfém tartalmát (Kiss és munkatársai. 2002).

Megállapítottuk, hogy néhány nappal a cianid szennyezés levonulása után már „normál, téli” algaközösségeket találtunk mind a Tiszában, mind a Szamosban. Nem volt szignifikáns különbség sem a fajszámban, sem a taxonómiai összetételben, sem a mennyiségi adatokban a szennyezett és a nem szennyezett tiszai szakaszok és a bodrogi minta esetében sem. A klorofill teljes spektrum analízise során sem találtunk metalloporfirinek jelenlétére utaló extra csúcsokat, ami arra utal, hogy az algák fotoszintetikus apparátusa nem károsodott jelentős mértékben. A cianid szennyezés ideje alatt minden bizonnyal érte károsodás az algákat, de gyorsan regenerálódtak a mellékfolyók és a felső szakasz algaközösségeiből. Ezt bizonyítja az is, hogy a februári mintáinkban élő Ciliata és Rotatoria fajokat is találtunk.

A 2000 március végi nehézfém szennyezés után, április 5-én is vizsgáltuk a Tisza algáit. Ez a szennyezés a folyó teljes magyarországi szakaszát érintette, szerencsére a szennyezés hatása az akkori jelentős áradás miatt kisebb volt a vártnál. Megállapítottuk, hogy a fitoplankton mennyisége és fajgazdagsága kisebb volt, mint ami az áprilisi fitoplanktonra jellemző, de az áradás miatt ez érthető. A februárhoz viszonyítva többszörösére nőtt a fitoplankton egyedszáma, ami egy fiziológiailag aktív fitoplankton közösségre utal. A TXRF vizsgálatok eredményei egyértelműen azt mutatták, hogy a februárhoz képest nőtt a cink tartalom és megjelent az ólom is a *Cladophora* fonalakban. Térbeli csökkenést is megfigyelhettünk Tiszacsegétől Szegedig a *Cladophora* fonalak cink, réz és különösen az ólom tartalmában, összefüggésben a víztest nehézfém tartalmának a csökkenésével. A Tiszát ért szennyezések, s az azok kapcsán megkezdett vizsgálatok világosan rámutatnak arra, hogy fokozottan szükség van folyóink rendszeres vizsgálatára, hogy megfelelő referencia adatokkal rendelkezünk.

Noha a kovaalga indexek egyikét sem a toxicitás jelzésére fejlesztették ki, kiszámoltuk mintáink esetében hogyan alakulnak az indexek értékei, jeleznek-e valamilyen változást, kimutathatók-e különbségek a folyó egyes szakaszain. Mindegyik kovaalga index romlást mutatott a vízminőségben Tokajnál, azonban Tokaj után ismét javuló minőséget jeleztek és a cianid szennyezést nem szenvedett Bodrogban is kis értékeket mutattak. A tiszai vizsgálatokra vonatkozóan az indexek alakulásából két dolgot lehetett egyértelműen látni. Az egyik, hogy a bevonat kovaalgái nem sérültek olyan mértékben, hogy ne jelezték volna a vízminőséget a növényi tápanyag ellátottság és a szerves szennyezettség szempontjából, a másik, hogy a toxicitás változása nem jut kifejezésre az indexek alakulásában.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Az itt bemutatott kutatási eredmények az MTA központi támogatása; az MTA-SZTA kétoldalú megállapodása; az AKP 98–79 3,3; az OTKA I/3 934, T016835, T032609 sz. pályázatok; a KTM Szigetközi kutatások; az FKFP, Alapítvány a Magyar Felsőoktatásért és Kutatásért (Magyary Zoltán posztdoktori ösztöndíj) segítségével valósultak meg. A fény- és elektronmikroszkópos vizsgálatoknál az utóbbi években a GVOP-3.2.1.-2004-04-0151/3.0, MU-00186/00/2000, OTKA M 041686 pályázatok támogatásával beszerzett mikroszkópokat használtuk.

IRODALOM

- ÁCS, É. – KISS, K.T. – SZABÓ, K. É. (2006): Innovative algological investigations related to the Water Framework Directive. In: Török, K. – Kovács-Láng, E. (eds.) Recent research results supporting sustainability. Institute of Ecology and Botany of the Hungarian Academy of Sciences. – Institute of Ecology and Botany, HAS, pp. 51–54.
- Ács, É. – Kiss, K.T. – Szabó, K. – Makk, J. (2000): Short-term colonization sequence of periphyton on glass slides in a large river (River Danube, near Budapest). – Arch. Hydrobiol. Algological Studies. 100: 135–156.
- ÁCS, É. – SZABÓ, K. – KISS, K.T. (2002): Nature conservation oriented algal biodiversity monitoring investigations in the main arm and some dead arms of the River Tisza I. Benthic diatoms. – Proceedings 34th International Conference of IAD, Tulcea. Limnological Reports 34: 111–120.
- ÁCS, É. – SZABÓ, K. – KISS, K.T. – HINDÁK, F. (2003): Benthic algal investigations in the Danube River and some of its main tributaries from Germany to Hungary. – Biologia Bratislava 58: 545–554.
- ÁCS, É. – SZABÓ, K. – KISS, Á.K. – TÓTH, B. – ZÁRAY, GY. – KISS, K.T. (2006): Investigation of epilithic algae on the River Danube from Germany to Hungary and the effect of a very dry year on the algae of the River Danube. – Arch. Hydrobiol.. Large Rivers 16: 389–417.
- BESZTERI, B. – ÁCS, É. – MAKK, J. – KOVÁCS, G. – MÁRIALIGETI, K. – KISS, K.T. (2001): Phylogeny of six naviculoid diatoms based on 18s rDNA sequences. – Int. J. Syst. Evol. Microbiol. 51: 1581–1586.
- BESZTERI, B. – ÁCS, É. – MEDLIN, L. (2005a): Conventional and geometric morphometric studies of valve ultrastructural variation in two closely related Cyclotella species (Bacillariophyceae). – Eur. J. Phycol. 40: 89–103.
- BESZTERI, B. – ÁCS, É. – MEDLIN, L. (2005b): Ribosomal DNA sequence variation among sympatric strains of the Cyclotella meneghiniana complex (Bacillariophyceae) reveals cryptic diversity. – Protist 156: 317–333.
- BARTALIS, É.T. – DVIHALY, Z.T. – KISS, K.T. – SCHMIDT, A. – TOMAJKA, J. (1987): Mit dem Sauerstoffgehalt zusammenhängende Untersuchungen in der mittleren Donau VI. /1986/. 26. Arbeitstagung der IAD. Passau/Deutschland. 1987. pp. 330–334.
- BOTHÁR, A. – KISS, K. T. (1990): Phytoplankton and zooplankton (Cladocera, Copepoda) relationship in the eutroficated River Danube (Danubialia Hungarica, CXI). – Hydrobiologia 191: 165–171.
- DVIHALY, S.T. – M. ERTL, M. – KISS, K.T. – SCHMIDT, A. – STEFKOVA, E. (1982): Mit dem Sauerstoffhaushalt zusammenhängende Untersuchungen in der mittleren Donau. 23. Arbeitstagung der IAD, Wien. pp. 8–15.
- Kiss, Á.K. (2007): A heterotróf egysejtű közösség éves változása és szerepe a Duna planktonjának anyagforgalmában. – Hidrológiai Közöny. 87: (in press)
- KISS, K.T. (1985): Changes of trophity conditions in the River Danube at Göd. Danubialia Hungarica XCIV. Ann. Univ. Sci. Budapest Sect. Biol. 24/26: 47–59.
- KISS, K.T. (1986): Species of the Thalassiosiraceae in the Budapest section of the Danube. Comparison of samples collected in 1956–63 and 1979–83. In: Ricard, M. (ed): Proceedings 8th International Diatom Symposium – Koeltz. Koenigstein pp. 23–31.
- KISS, K.T. (1987): Phytoplankton studies in the Szigetköz section of the Danube during 1981–1982. – Arch. Hydrobiol. Algol. Studies 47: 247–273.
- KISS, K. T. (1994): Trophic level and eutrophication of the River Danube in Hungary. – Verh. Internat. Verein. Limnol. 25: 1688–1691.
- KISS, K.T. (1996): Diurnal change of planktonic diatoms in the River Danube near Budapest (Hungary). – Arch. Hydrobiol. Algol. Studies 80: 113–122.
- KISS, K.T. (1999): Szigetközi vizek trofitása a fitoplankton vizsgálatok tükrében. In: Láng, I. és munkatársai. (szerk). A Szigetköz környezeti állapotáról. – MTA Szigetközi Munkacsoport, Budapest. pp. 67–77.
- KISS, K.T. (2000): Növekedett-e a Duna trofitási szintje a Bósi-vízlépcső hatására? – Hidrológiai Közöny 80: 316–318.

- Kiss K.T. (2004): Fitoplankton minták gyűjtése, feldolgozása. – In: Ács, É. – Kiss, K.T. (szerk): *Algológiai praktikum*. – Eötvös Kiadó, Budapest. pp. 15–34.
- Kiss K.T. (2005): Gemenc térségi vizek fitoplanktonjának elemzése természetvédelmi szempontból. – *Bot. Közlem.* 92: 85–118.
- Kiss, K.T. – Ács, É. (2002): Algológiai kutatások. – In: Fekete, G. és munkatársai (szerk): *A Magyar Tudományos Akadémia Ökológiai és Botanikai Kutatóintézete 50 éve (1952–2002)*. – MTA ÖBKI, Vácrátót, pp. 313–334.
- Kiss, K.T. – Ács, É. (2002): Nature conservation oriented algal biodiversity monitoring investigations in the main arm and some dead arms of the River Tisza II. Phytoplankton. – *Proceedings 34th International Conference of IAD, Tulcea. Limnological Reports* 34: 163–171.
- KISS, K.T.– ÁCS, É.– BARKÁCS, K.– BORICS, G.– BÓDDI, B.– ECTOR, L.– SYLMOS, G. K.– SZABÓ, K. – VARGA, A.–, VARGA, I. (2002): Qualitative short-term effects of cyanide and heavy metal pollution on phytoplankton and periphyton in the rivers Tisza and Szamos (Hungary). – *Arch. Hydrobiol. Large Rivers* 13: 47–72.
- KISS, K.T. – S. I. GENKAL (1993): Winter blooms of centric diatoms in the River Danube and in its side arms near Budapest. In: van Dam, H. (ed): *Twelfth International Diatom Symposium*. – *Hydrobiologia* 269/270: 317–325.
- KISS, K.T. – GENKAL, S. I. (1996): Phytoplankton of the Danube's reservoirs in September 1995 from Germany to Hungary. – In: Berczik, Á. (ed.): *Limnologische Berichte Donau 1996. Band. I.* – MTA Ökol. Bot. Kut. Int. Magyar Dunakutató Állomás, Vácrátót/Göd. pp. 143–148.
- KISS, K.T. – SCHMIDT, A. – ÁCS, É. (1996): Sampling strategies for phytoplankton investigations in a large river (River Danube, Hungary). In: Whitton, B.A. – Rott, E. (eds.): *Use of algae for monitoring rivers II. Proceedings International Symposium. Innsbruck/Austria, 17–29. September 1995*. – STUDIA Studentenförderungs-Ges.m.b.H. Innsbruck. pp. 179–185.
- KISS, K.T. – SCHMIDT, A. – BARTALIS, É.T. (1991): Phytoplanktonuntersuchungen im ungarischen Donauabschnitt im Jahre 1987. – 29. Arbeitstagung der IAD, Kiew/UdSSR, 2: 76–80.
- KUSEL-FETZMANN, E. (1998): Das Phytoplankton. – *Ergebnisse der Donau-Forschung*, 4: 11–162. – WUV. Univ. Verlag Hochschülerschaft an der Universität Wien Ges.m.b.H. Wien.
- SCHMIDT, A. – KISS, K.T. (1989): Algarendellenességek felszíni vizeinkből. – *Botanikai Közlemények* 76: 107–123.
- SCHMIDT, A. – KISS, K.T. – BARTALIS, É. (1994): Chlorococcal algae in the phytoplankton of the Hungarian section of the River Danube in the early nineties. – *Biologia Bratislava* 49: 553–562.
- SZABÓ, K. É. – ÁCS, É. – KISS, K. T. – EILER, A. – MAKK, J. – PENKOVIĆ-MORAJ, A. – TÓTH B. – BERTILSSON, S. (2007): Periphyton-based water quality analysis of a large river (River Danube, Hungary): exploring the potential of molecular fingerprint for biomonitoring. – *Arch Hydrobiol. Large Rivers*, 17: 365–382
- SZABÓ, K.– KISS, K.T.– ECTOR, L.– KECSKÉS, M. – ÁCS, É. (2004): Benthic diatom flora in a small Hungarian tributary of the River Danube (Rákos-stream). – *Arch. Hydrobiol. Algological Studies*, 111: 79–94.
- SZEMES, G. (1961): Die Algen des Periphytons der Donaupontons /Quantitative Analyse der Bacillariophyceen/ (Danubialia Hungarica 11). – *Ann. Univ. Sci. Budapest. Sect. Biol.* 4: 179–215.
- SZEMES, G. (1964): Untersuchungen über das Phytoplankton der ungarischen Donauastrecke in Sommermonaten (Danubialia Hungarica 25). – *Ann. Univ. Sci. Budapest. Sect. Biol.* 7: 169–199.
- SZEMES, G. (1966): Untersuchungen über das Phytoplankton der ungarischen Donauastrecke in Herbstmonaten (Danubialia Hungarica 38) – *Opuscula Zoologica Budapest.* 6: 157–185.
- SZEMES, G. (1967a): Systematisches Verzeichnis der Pflanzenwelt der Donau mit einer zusammenfassenden Erläuterung. – In: Liepolt, R. (ed): *Limnologie der Donau*. – Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung. Stuttgart, V.: 70–131
- SZEMES, G. (1967b): Das Phytoplankton der Donau. In: Liepolt, R. (ed): *Limnologie der Donau*. – Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung. Stuttgart, V.: 158–179.
- SZEMES, G. (1967c): Das Phytobenthos der Donau. – In: Liepolt, R. (ed): *Limnologie der Donau*. – Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung. Stuttgart, V.: 225–241.
- SZEMES, G. (1969): The phytoplankton of the Hungarian reach of the Danube during the winter months (Danubialia Hungarica 46) – *Ann. Univ. Sci. Budapest. Sect. Biol.* 11: 75–117
- SZEMES, G. (1971): Untersuchungen über das Phytoplankton des ungarischen Donauabschnittes in Frühjahrsmonaten (Danubialia Hungarica 40) – *Ann. Univ. Sci. Budapest. Sect. Biol.* 13: 173–252.
- TAMÁS-DVIHALLY, S. (1993). Zum Stoffhaushalt der mittleren Donau. – *Arch. Hydrobiol. Large Rivers* 9: 53–72.
- UHERKOVICH, G. (1979): A Dráva magyarországi szakaszának algavegetációjáról. – *Janus Pannonius Múz. Évk.* 23: 7–23.



Decsi-Kis-Holt-Duna, Gemenc (foto: Nosek J.).